

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroniky

Projektová dokumentace elektrické části
laboratorního pracoviště pro řízení čerpadel

Project Documentation of Electrical Part of
Laboratory Pump Control Stand

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Vojtěch Kalas

Studijní program:

N2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

2612T015 Elektronika

Téma:

Projektová dokumentace elektrické části laboratorního stanoviště pro
řízení čerpadel
Project Documentation of Electrical Part of Laboratory Pump Control
Stand

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte vstupní informace a požadavky pro realizaci laboratorního stanoviště pro laboratorní úlohu s řízením čerpadel.
2. Proveďte dimenzování všech komponentů elektrické části laboratorního stanoviště včetně prostředků pro jeho ovládání.
3. Zpracujte projektovou dokumentaci pro realizaci elektrické části laboratorního stanoviště.
4. V rozsahu dle pokynů vedoucího práce uveďte zařízení do provozu.

Seznam doporučené odborné literatury:

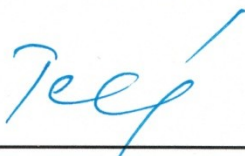
Veselovský, J., Kroupa, M.: Základy tvorby technické dokumentace v elektrotechnice, ALFA, 1989
Dudáček, A.: Požárně bezpečnostní zařízení, VŠB-TU Ostrava, 1996
Martínek, Z.: Projektování elektroinstalací, skriptum ZČU, 1992
Další literatura dle pokynů vedoucího diplomové práce

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Petr Chlebiš, CSc.**

Datum zadání: 01.09.2014

Datum odevzdání: 07.05.2015



doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení:

„Prohlašuji, že jsem tuto Diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Ostravě dne 7.5.2015


Bc. Vojtěch Kalas

Poděkování

Touto formou bych rád poděkoval panu prof. Ing. Petru Chlebišovi, CSc, Ing. Václavu Sládečkovi, Ph.D., Ing. Janu Dudkovi, Ph.D. za pomoc, cenné rady a doporučení při řešení této diplomové práce.

Abstrakt:

Cílem této diplomové práce je vytvořit kompletní projektovou dokumentaci laboratorního pracoviště, jenž představuje model malé vodní elektrárny s možností řízení spádu a průtoku. V první části je základní rozbor, ve kterém je popsáno laboratorní pracoviště. Dále se řeší popis samotného čerpadla a turbíny a jejich pohony. Ve druhé části je vytvořena projektová dokumentace, která obsahuje zapojovací schémata, dispoziční výkresy rozvaděčů, kusovník a technickou zprávu.

Klíčová slova: Model vodní elektrárny, Čerpadlo, Turbína, Asynchronní generátor

Abstract:

The aim of this thesis is to create a complete project documentation laboratory workplace, which is a model of small hydroelectric power management options with a gradient flow. The first part is the basic analysis, which describes laboratory workplace. Further description of the pump itself solves a turbine and drives. In the second part of the project documentation is created, which includes wiring diagrams, layout drawings of cabinets, BOM and technical report.

Key word: Model hydroelectric power stations, Pumps, Turbines, Asynchronous generator

Seznam použitých symbolů a zkratk:

$^{\circ}\text{C}$	- stupeň celsia (jednotka teploty)
A	- ampér (jednotka proudu)
V	- volt (jednotka napětí)
kW	- kilowatt (jednotka výkonu)
m^3/h	- metr krychlový za hodinu (jednotka průtoku)
l/s	- litr za sekundu (jednotka průtoku)
m	- metr (jednotka spádu a výšky)
HD	- hydrodynamický stroj
c	- absolutní rychlost proudění kapaliny
v	- relativní rychlost proudění kapaliny
u	- unášivá rychlost
p	- tlak
Pa	- pascal (jednotka tlaku)
g	- gravitační zrychlení
h	- polohová výška
ρ	- měrná hmotnost (hustota)
h_z	- ztrátová výška
CAD	- computer aided design
M1	- AC/AC měnič pro motorický chod
M2	- AC/AC měnič pro generátorický chod
AM	- asynchronní motor
AG	- asynchronní generátor
P	- tlakoměr
t	- teploměr
S	- šoupátko
K	- klapka
PM	- průtokoměr
FU	- označení pojistek
η_h	- účinnost hydrostatického stroje
Y	- teoretická měrná energie čerpadla
r	- poloměr otáčení
ω	- úhlová rychlost
rad/s	- radián za sekundu (jednotka úhlové rychlosti)
T	- turbína
Č	- čerpadlo
e_R	- ztrátová energie vztažena na jednotku hmotnosti
U_s	- sdružené napětí
l	- délka vedení
P	- činný výkon
S	- zdánlivý výkon
Q_c	- jalový výkon

C	- kapacita kompenzační baterie
μF	- mikrofarad (jednotka kapacity)
$u_{\Delta\text{dov}}$	- dovolený úbytek na vedení dle normy ČSN
u_{Δ}	- vypočtený dovolený úbytek napětí mezi měničem SIMOVERT a motorem
$u_{\Delta\text{přivod}}$	- vypočtený dovolený úbytek napětí mezi přívodní zásuvkou a svorkovnicí x_1
$\cos \varphi$	- účinník
s	- průřez vodiče
mm^2	- milimetr čtvereční (jednotka průřezu)
ρ_{cu}	- měrný tepelný odpor
$\mu\Omega\text{m}$	- mikroohm metr (jednotka měrného tepelného odporu)
f	- frekvence
Hz	- hertz (jednotka frekvence)
n_s	- synchronní otáčky
n_n	- jmenovité otáčky
ot/min	- otáčky za minutu (jednotka otáček)

Obsah

1.	Úvod.....	10
2.	Popis laboratorního stanoviště.....	11
2.1.	Hydrodynamický stroj.....	11
2.2.	Základní hydromechanické zákony a rovnice.....	12
2.2.1.	Eulerova rovnice hydrostatiky.....	12
2.2.2.	Bernoulliho rovnice.....	13
2.2.3.	Kavitace.....	13
2.3.	Čerpadlová turbína.....	14
2.3.1.	Typové označení turbíny.....	14
2.3.2.	Štítkové hodnoty.....	15
3.	Dimenzování laboratorního stanoviště.....	15
3.1.	Asynchronní motor.....	16
3.1.1.	Štítkové hodnoty asynchronního motoru čerpadla.....	17
3.1.2.	Blokové schéma zapojení.....	17
3.2.	Nepřímé měniče kmitočtu.....	17
3.2.1.	Nepřímý měnič kmitočtu řady SIMOVERT.....	18
3.2.1.1.	Štítkové hodnoty měniče.....	18
3.2.1.2.	Parametrování měniče.....	18
3.2.1.3.	Volba jistění měniče.....	20
3.2.1.4.	Výpočet úbytku napětí na kabelu měnič – motor.....	20
3.2.2.	Nepřímý měnič kmitočtu řady SINAMICS.....	21
3.2.2.1.	Štítkové hodnoty měniče.....	22
3.2.2.2.	Nastavení parametrů měniče SINAMICS.....	22
3.2.2.3.	Volba jistění měniče.....	23
3.2.2.4.	Výpočet úbytku napětí na kabelu měnič – motor.....	23
3.3.	Asynchronní generátor.....	24
3.3.1.	Štítkové hodnoty.....	24
3.3.2.	Blokové schéma zapojení.....	25
3.3.3.	Výpočet minimálních otáček pro generátorický chod.....	25
3.3.4.	Měření provozních vlastností generátoru a turbíny.....	26
3.3.5.	Výpočet kompenzace účinníku.....	26
3.4.	Elektrický rozvaděč.....	27
3.5.	Elektrická přípojka.....	28
3.5.1.	Výpočet úbytku napětí na přívodním vedení.....	29
4.	Technická zpráva.....	30
4.1.	Základní údaje.....	30
4.2.	Seznam projektové dokumentace.....	30
4.3.	Podklady pro projekt.....	30
4.4.	Předpisy a normy.....	30
4.5.	Napěťové soustavy.....	31
4.6.	Ochrana před úrazem elektrickým proudem.....	32
4.7.	Uzemnění.....	32
4.8.	Ochranná soustava.....	32
4.9.	Ochrana před bleskem.....	32

4.10	Požadavky na dodávku elektrické energie	32
a)	Napájecí místo:.....	32
b)	Stupeň důležitosti dodávky energie:.....	32
c)	Ochrana proti zkratům a přetížení, vypínatelnou zatížení:.....	32
d)	Instalovaný příkon:.....	32
4.11	Krytí elektrického zařízení	33
4.12	Popis technického řešení	33
a)	Technické řešení.....	33
b)	Popis ovládacího pultu PU01	33
c)	Popis provozně technických funkcí.....	34
d)	Obsluha, servis a uvedení do provozu elektrické zařízení	34
4.13	Uvedení do provozu a provozní podmínky	35
a)	Předpisy pro uvedení do provozních podmínek	35
b)	Bezpečnost a ochrana zdraví při práci a provozu elektrickým zařízením	35
4.14	Dopad na životní prostředí	35
5.	Ukázka z měření.....	36
5.1.	Výkonová charakteristika turbíny	36
5.2.	Příkonová charakteristika turbíny	37
5.3.	Účinnost turbíny	38
5.4.	Motor připojený na distribuční síť	39
6.	Závěr	40
7.	Použitá literatura	41
7.1	Literatura	41
7.2	Datové listy	41
7.3	Normy	42
8.	Seznam příloh.....	43

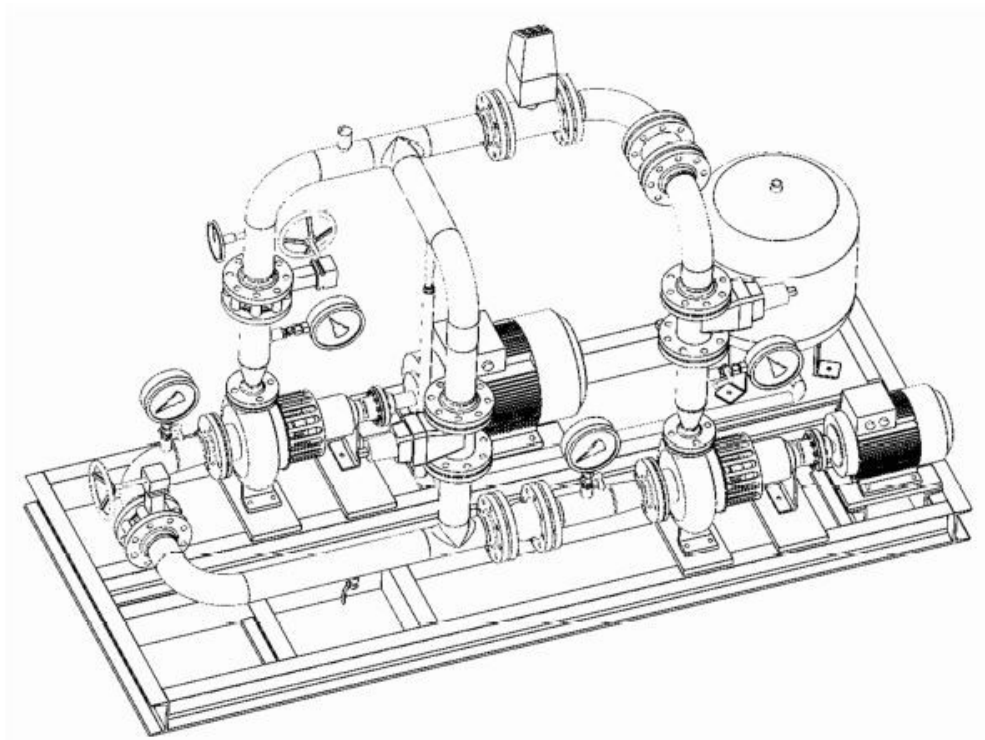
1. Úvod

Aplikace střídavých elektrických pohonů v různých typech hydraulických soustav představují velice technicky zajímavou aplikační oblast. Jedná se především o oblast otáčkového řízení čerpadel, které je již v praxi značně využíváno. Velice zajímavou úlohou se však ukazuje i řízení otáček a momentu generátorické soustavy vodní turbíny.

Katedra elektroniky v uplynulých letech nedisponovala laboratorním stanovištěm, na kterém by bylo možné úlohy spojené s řízením otáček čerpadla nebo turbíny provádět. V letošním roce byl realizován hydraulický model, na němž bude možné realizovat úlohy spojené s řízením hydraulických soustav. Pro tuto činnost musí být hydraulická část doplněna rozvaděčem elektrické části. Tato diplomová práce si klade za cíl zpracovat projektovou dokumentaci, podle níž by mohla být elektrotechnická část laboratorního stanoviště vyrobena a zapojena.

2. Popis laboratorního stanoviště.

Stanoviště je navrženo jako uzavřený a cirkulační systém oběhu vody mezi čerpadlem a turbínou. Schéma zkušebního okruhu je zobrazeno na obrázku číslo 1. První část tvoří čerpadlo spojené pevnou spojkou s hřídelí hnacího asynchronního motoru. Druhou část tvoří čerpadlo, které pracuje v turbínovém chodu a je spojeno pevným spojením s hřídelí asynchronního generátoru. Čerpadlo a turbína mají stejné typové označení. Na potrubí mezi těmito hydraulickými stroji je umístěn průtokoměr, dvě škrtkové klapky a dvě šoupátka. [12]



Obr. 1 - Model laboratorního stanoviště [12]

2.1. Hydrodynamický stroj

Zařízení, které využívá ke své práci energii kapaliny, se nazývá hydraulický stroj. Základní rozdělení hydraulických strojů se provádí podle způsobu využití energie kapaliny. V tomto smyslu rozdělujeme hydraulické stroje na hydrostatické a hydrodynamické. [3]

Hydrostatické zařízení využívá tlakové energie kapaliny. Tuto energii použije pro tvorbu momentu nebo síly. Kinetická energie kapaliny je malá a konstantní. Princip činnosti využívá „Pascalův zákon“. [3]

Hydrodynamické zařízení využívá pro tvorbu síly nebo momentu změnu kinematické energie. Na základě této skutečnosti dokáže zařízení vyvinout krouticí moment na hřídeli hydrodynamického stroje. Do této skupiny se řadí turbíny a čerpadla nebo hydrodynamické spojky. [3]

2.2. Základní hydromechanické zákony a rovnice

Pro dobré poznání funkce hydraulických strojů je nezbytné seznámit se se základními zákony hydrauliky. K těmto zákonům zejména patří Eulerova rovnice hydrostatiky a Bernoulliho rovnice. Je také nezbytné pochopit děj nazývaný kavitace.

2.2.1. Eulerova rovnice hydrostatiky

Eulerova rovnice se používá ve dvou základních tvarech. První vyjadřuje teoretickou měrnou energii čerpadla a představuje rozdíl vstupní a výstupní energie z čerpadla. Energie je v tomto případě dodávána do kapaliny. Tento typ rovnice nazýváme Eulerovou čerpadlovou rovnicí. Druhým typem je Eulerova turbínová rovnice, která vyjadřuje teoretickou měrnou energii turbíny a popisuje rozdíl mezi energií na vstupu a výstupu z turbíny. V tomto případě je energie odebírána z kapaliny. Na obrázku číslo 2 je vidět, jakým způsobem a jakým směrem působí energie na lopatky turbíny popřípadě čerpadla. [10]

a) Tvar pro čerpadlový režim:

$$u_2 \cdot c_{u2} - u_1 \cdot c_{u1} = Y / \eta_h \quad (2.1)$$

b) Tvar pro turbínový režim:

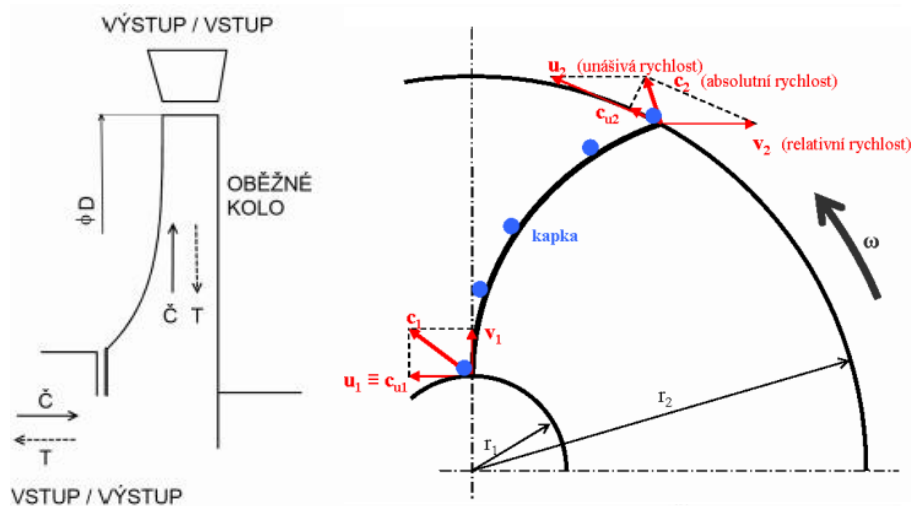
$$u_1 \cdot c_{u1} - u_2 \cdot c_{u2} = Y \cdot \eta_h \quad (2.2)$$

c_{u1}, c_{u2} absolutní rychlost proudění kapaliny [m/s]

u_1, u_2 unášivá rychlost proudění kapaliny [m/s]

Y teoretická měrná energie čerpadla [J/kg]

η_h účinnost hydrodynamického stroje [%]



Obr. 2 - a) Schéma radiálního vodního stroje [12]

b) Rychlostní poměr v čerpadle [10]

2.2.2. Bernoulliho rovnice

Bernoulliho rovnice vyjadřuje zákon o zachování energie ve skutečné kapalině. Při pohybu skutečné kapaliny musíme započítat do rovnice působení gravitace a třecí sílu. Třecí síla je závislá na viskozitě kapaliny. Uvažujeme, že rychlost kapaliny je v průřezu potrubí rozložena rovnoměrně a proudění je ustálené. [10]

$$\frac{v_1^2}{2} + \frac{p_1}{\rho} + g \cdot h_1 = \frac{v_2^2}{2} + \frac{p_2}{\rho} + g \cdot h_2 + e_R = konst \quad (2.3)$$

v_1 rychlost proudění kapaliny v prvním průřezu [m/s]
 v_2 rychlost proudění kapaliny v druhém průřezu [m/s]
 p_1 tlak v kapalině v prvním průřezu [Pa]
 p_2 tlak v kapalině v druhém průřezu [Pa]
 g gravitační zrychlení [m/s^2]
 h_1 polohová výška v prvním průřezu [m]
 h_2 polohová výška v druhém průřezu [m]
 ρ měrná hmotnost [kg/m^3]
 e_R ztrátová energie vztažena na jednotku hmotnosti [J/kg]

2.2.3. Kavitace

Nepříznivý jev, který nastává na lopatkách turbíny se nazývá kavitace. U lopatkových hydrodynamických strojů docházky k rozdílnému tlaku nad a pod lopatkou. Vlivem poklesu tlaku až na tzv. „tlak nasycený par“ dojde k vytvoření malých bublinek vyplněných vodní párou. Bublínky následně vstupují do oblasti vyšších tlaků, kde dochází ke kondenzaci vodní páry a vzniku tzv. „kavitační dutinky“. Tato dutinka se velkou rychlostí zaplňuje vodou, a to způsobuje velké rázy na lopatkách turbíny. Pokud dochází k tomuto jevu na povrchu lopatek čerpadla trvale, dojde k mechanickému poškození povrchu lopatek a následně ztrátě účinnosti hydrostatického stroje. [10]

Tento děj nastává pouze ve skutečné kapalině. V případě ideální kapaliny kavitace nemůže vzniknout, protože ideální kapalina je schopna přenést tahové napětí při vyšším podtlaku, než je tlak nasycené páry. Největší vliv na vznik kavitace mají pevné částice (rez) anebo nerozpuštěné plyny (okysličená voda). Na obrázku číslo 3 je zobrazeno poškození rotoru oběžného čerpadla. [10]

K potlačení kavitace dojde při zvýšení složky statického tlaku kapaliny, čímž při průtoku kapaliny kolem lopatky nedojde k poklesu výsledného tlaku pod úroveň tlaku nasycených par. Proto je zkušební stanoviště provozováno jako systém uzavřený a tlakový. [10]



Obr. 3 - Poškozený rotor oběhového čerpadla kavitací

2.3. Čerpadlová turbína

Pro laboratorní stanoviště byly využity dvě čerpadla typu 40-NVE-200-7 od výrobce „Sigma Lutín“. Tento typ čerpadla dokáže pracovat jak v čerpadlovém, tak v turbínovém režimu. Čerpadlo je horizontální, odstředivé, jednostupňové, s letmo uloženým rotorem v tělese ložisek. Jeho části můžeme rozdělit na hydraulické a mechanické. Hydraulická část je tvořena tělesem čerpadla, které je opatřené dvěma patkami pro pevné uchycení k základovému rámu. Mechanická část je podepřena patkou, která je uchycena k rámu. [12]

Hydraulickou část můžeme rozdělit na rotorovou a statorovou. Stator se skládá z pevného železného krytu a tělesa čerpadla. Rotor je složen z oběžného kola, které je umístěno na hřídeli s ložisky. Celý systém je vložen do statorového pouzdra. Nerezová hřídel čerpadla je spojena s motorem přes pevnou spojku. Čerpadlo je pravotočivé. [12]

2.3.1. Typové označení turbíny.

Na základě požadavků školy společnost „Sigma Lutín“ navrhla pro laboratorní stanoviště čerpadla typu 40-NVE-200-7-LZ. Z typového označení lze vyčíst několik základních údajů, které nejsou uvedeny na štítku čerpadla. [12]

Jedná se zejména o údaje, že jmenovitý průměr výtlačného hrdla je 40 mm, označení typové řady NVE, průměr oběžného kola 200 mm, šířka kanálu oběžného kola 7 mm a kovové díly jsou vyrobeny ze slitiny s označením LZ. [12]

2.3.2. Štítkové hodnoty

Konkrétní hodnoty výše uvedeného typu čerpadla jsou blíže rozvedeny prostřednictvím štítkových údajů. Tyto údaje nezbytné pro další návrh celého zařízení i dimenzování elektrických strojů, přístrojů a kabeláže. Parametry jsou shodné u obou čerpadel.

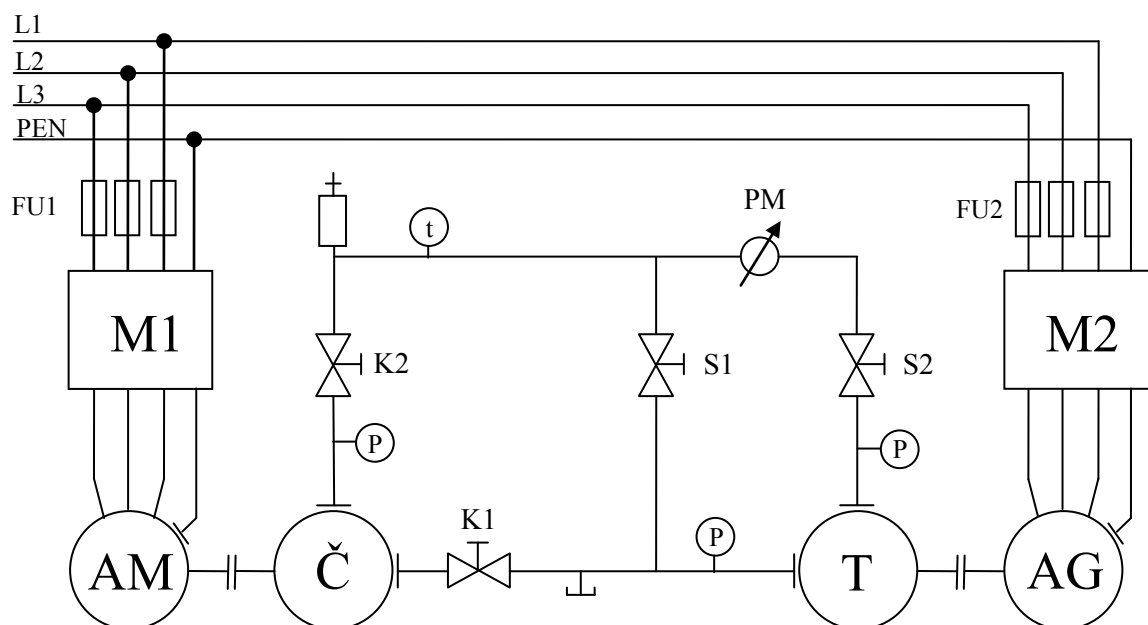
40 – NVE – 200 – 7 – LZ		
Výrobní číslo	14100080	
Průtok – Q_n	10	l/s
Spád – H_n	45	m
Otáčky – n_n	2940	1/min
Výkon – P_n	7.5	kW
Váha – m	48	kg

Tab. 1 - Štítkové hodnoty čerpadla

3. Dimenzování laboratorního stanoviště

Nedílnou součástí každého nového elektrického zařízení je projektová dokumentace. Součástí dokumentace jsou elektrická schémata, která obsahují silové a ovládací obvody. Každé elektrické zařízení musí být jištěno adekvátním jističím prvkem a připojeno dobře dimenzovaným kabelem.

Každý projektant vychází z podkladů a požadavků, která získal od zákazníka anebo zadavatele. V tomto případě se jednalo o průvodní dokumentaci k laboratornímu stanovišti a hydraulické schéma v CAD systému. Na obrázku číslo 4 je zobrazena kombinace hydraulického a elektrického schématu.



Obr. 3 – Schéma kombinace hydraulického a elektrického schématu

Hydraulická část stanoviště je tvořena spojením čerpadla Č a turbíny T. Pro možnost regulace průtoku a pracovního tlaku na každém z nich je hydraulický obvod vybaven ventily K1 a K2 na straně čerpadla a šoupátky S1 a S2 na straně turbíny. Šoupátko S1 řídí průtok paralelním potrubím turbíny, čímž umožňuje za stálých tlakových podmínek řídit množství kapaliny protékající turbínou T. Kromě uvedených prvků je hydraulický obvod vybaven tlakoměry P1, P2, P3, které měří tlak v důležitých místech soustavy, dále teploměrem t a digitálním průtokoměrem PM. Pro udržení provozních stavů je hydraulická část vybavena expanzní nádobou s odvzdušněním a napouštěcím/vypouštěcím ventilem.

Elektrická část je napojena na trojfázovou distribuční síť 3x400V, na níž jsou přes pojistky FU1 a FU2 připojeny M1 - měnič kmitočtu motoru čerpadla a M2 - měnič kmitočtu motoru turbíny. Tyto měniče napájejí proměnným kmitočtem asynchronní motor čerpadla, a dále asynchronní generátor turbíny AG, což umožňuje dodávat energii z generátoru AG při jeho různých otáčkách.

Uvedené stanoviště tak disponuje širokou škálou možností pro nastavování pracovních bodů obou soustrojí jak hydraulicky, tak elektricky.

3.1. Asynchronní motor

Asynchronní motor je v současnosti nejpoužívanějším motorem. Činnost těchto typů střídavých motorů spočívá ve vytvoření elektromagnetické indukce mezi rotorem a statorem. Dle stavby rotoru dělíme asynchronní motory na dvě skupiny. První skupinu tvoří asynchronní motory s kotvou nakrátko. Druhou skupinou jsou kroužkové motory, kde je elektrická energie přenášena do obvodu rotoru pomocí kroužků a kartáčů. Hlavní výhody jsou spolehlivost, jednoduchá konstrukce, snadné řízení otáček a napájení z běžného distribučního rozvodu. Velkou nevýhodou asynchronních motorů je záběrný proud, který se objeví při zapojení motoru přímo na jmenovité napětí, např. distribuční síť. Norma povoluje přímé připojení do distribuční sítě pro motory s maximální nominální hodnotou výkonu 3kW. U motorů s nominálním výkonem nad 3 kW je nutné omezit záběrný proud. Pro omezení proudu v našem případě využíváme frekvenční měnič, který je popsán v kapitole 3.2. [8]

Podle velikosti a typu čerpadla byl z tabulkových hodnot výrobce hydrauliky vybrán asynchronní elektromotor. Výrobce čerpadla doporučuje pro motorický chod k turbíně s typovým označením 40-NVE-200-7- LZ - S motor s nominálním výkonem 11 kW. Na základě tohoto nominálního výkonu byl vybrán motor od společnosti SIEMENS typu 1LE1001-1DA22-2AA4. Jeho štítkové hodnoty jsou uvedeny v kapitole 3.1.1. Motor je řízen z nepřímého měniče kmitočtu SIMOVERT s napěťovým meziobvodem. Popisem měniče a jeho parametrováním se zabývá samostatná kapitola 3.2.

3.1.1. Štítkové hodnoty asynchronního motoru čerpadla

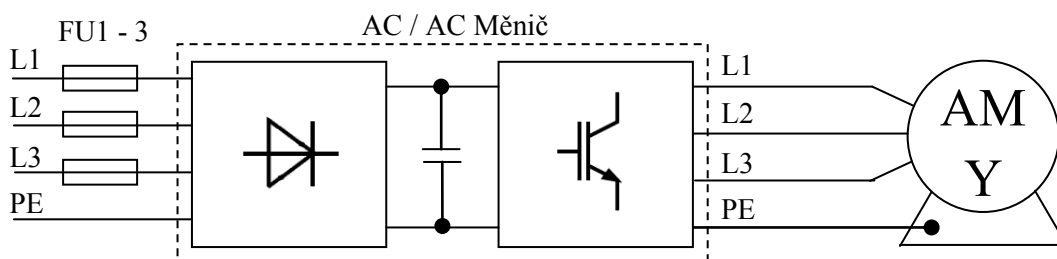
Jak bylo zmíněno, z katalogu společnosti SIEMENS byl vybrán motor typu 1LE1001-1DA22-2AA4. Tento motor pro evropské použití má nominální výkon 11 kW při jmenovitých otáčkách 2955 ot.*min-1. Motor má dvě pólové dvojce a jmenovitý moment 36 Nm. S hydrodynamickým strojem je pevně spojen pružnou spojkou.

Typ:	1LE1001-1DA22-2AA4 / 1AV216A			
Napětí:	230	400	460	V
Zapojení:	Δ	Y	Y	
Frekvence:	50	50	60	Hz
Výkon:	11	11	12.6	kW
Proud:	36	20.5	19.9	A
Otáčky:	2955	2955	3555	1/min
Moment:	36	36	34	Nm

Tab. 2 - Štítkové hodnoty motoru [16]

3.1.2. Blokové schéma zapojení

Na obrázku 3 je zapojení asynchronního motoru a měniče kmitočtu pro motorický režim. Před vstupními svorkami do nepřímého měniče kmitočtu jsou umístěny pojistky typu gR s nominální hodnotou 32A. Svorkovnice asynchronního motoru je zapojena do hvězdy.



Obr. 3 – Blokové schéma zapojení asynchronního motoru a AC/AC měniče

3.2. Nepřímé měniče kmitočtu

V současnosti se v moderních pohonech nejčastěji využívají nepřímé měniče kmitočtu s napěťovým meziobvodem. Na vstupu měniče může být neřízený můstkový usměrňovač. Takový nepřímý měnič kmitočtu může pracovat pouze v motorickém chodu. V případě, že bude zapojen místo neřízeného usměrňovače řízený pulzní usměrňovač je možné pracovat i v generátorickém chodu. Energie se v tomto případě může předávat z generátoru zpět do sítě. Do stejnosměrného obvodu měniče je zapojen velký kondenzátor, který slouží jako napěťový zdroj energie pro střídač. Za stejnosměrným obvodem je připojen můstkový střídač, který je složen pro malé a střední výkony obvykle z IGBT tranzistorů. Výhodou těchto měničů je široký rozsah řízení otáček. Kvalita a rozsah řízení jsou závislé na použitých metodách řízení. [8]

V diplomové práci jsou použity dva typy nepřímých měničů kmitočtu od společnosti SIEMENS. Prvním typem je měnič s názvem SIMOVERT, který pracuje pouze v motorickém chodu a jeho blokové schéma je zobrazeno v obrázku 3. Druhým typem je SINAMICS, který je schopen pracovat i v generátorickém chodu a jeho blokové schéma je zobrazeno v obrázku číslo 6.

3.2.1. Nepřímý měnič kmitočtu řady SIMOVERT

Nepřímý měnič kmitočtu od společnosti SIEMENS s typovým označením SIMOVERT využívá pro svou činnost vstupní neřízený usměrňovač. Z toho důvodu není možné měnič připojit ke generátoru. Před zprovozněním motoru do provozu je zapotřebí nastavit měnič na správné parametry. Tomuto postupu se věnuje kapitola 3.2.2. K základnímu modulu výrobce nabízí řadu doplňkových modulových částí, jako například filtry, nebo brzdné odpory. Diplomová práce využívá pro řízení asynchronního motoru pouze základního modulu, který se skládá z usměrňovače, stejnosměrného meziobvodu a střídače. V hlavním panelu se nachází řídicí karta, na které je uložen hlavní zdrojový kód. Tento kód mimo jiné ovládá spínání jednotlivých IGBT tranzistorů. Komunikace s měničem může probíhat přes nadřazený systém v počítači anebo pomocí ovládacího panelu na měniči. [8]

3.2.1.1. Štítkové hodnoty měniče

Jmenovitý výkon měniče byl stanoven podle velikosti jmenovitého proud motoru, který v našem případě činí 20,5 A při zapojení do hvězdy. Pro volbu měniče byl využit konfigurator od společnosti SIEMENS, který navrhnul měnič SIMOVERT VC 6SE7022-6EC61 s výstupním proudem 25.5A. Katalogu od společnosti SIEMENS, byly následně stanoveny základní štítkové hodnoty, na jejichž základě bylo možné provést dimenzování kabelů a průchodek. Takováto konfigurace, která je uvedena v tabulce 3, je pouze základní, protože společnost SIEMENS nabízí další doplňkové moduly. V případě laboratorního stanoviště plně vyhovuje základní konfigurace.

Typ:	SIMOVERT VC 6SE7022 – 6EC61
No:	T – N22847500012
Napájení:	3AC; 380 – 480 V; 28,1A; 50/60 Hz
Z_{MIN} :	1%
Výstup:	3AC; 0 – 400V; 25.5A; 0 – 600 Hz
Přetížení:	136% / 60 s

Tab. 3 - Štítkové hodnoty měniče SIMOVERT

3.2.1.2. Parametrování měniče

Při prvním zprovoznění měniče je nutné zadat parametrovou sadu vstupních a výstupních hodnot. Toto provádíme pomocí parametrů. Pokud by tento krok nebyl proveden, mohlo by dojít k poškození měniče, případě motoru. V tabulce 4 jsou nejdůležitější parametry, které je důležité nastavit.

Parametrování lze provést dvěma způsoby:

- a) Způsob s využitím malého displeje. Na displeji se přepneme do parametrovacího módu a pomocí šipek nastavujeme potřebný parametr. Následně jej zvolíme a potvrdíme jeho hodnotu.
- b) Způsob s využitím počítače a softwaru Drive Monitor. V tomto případě je komunikace mezi počítačem a měničem provedena 9-pinovým kabelem RS 232 nebo RS 485, který má nestandardní vnitřní zapojení. Při spuštění software se otevře okno. V okně vybereme tlačítko New a pokračujeme dle pokynů. Program má ve své databázi některé typy motoru a k nim patřičné rozběhové rampy. V případě, že nelze nalézt právě využívaný typ motoru, je nutné všechny parametry zadat ručně. Jde zejména o následující parametry měniče.

Parametr	Název	Hodnota	Jednotka
P060	Nastavení pohonu	5	-
P068	Výstupní filtr	0 – Bez filtru	-
P071	Jmenovité napájecí napětí	400	V
P095	Norma	10 - IEC	-
P100	Typ řízení motoru	1 – U/f řízení	-
P101	Jmenovité napětí motoru	400	V
P102	Jmenovitý proud motoru	20.5	A
P104	Účinník motoru $\cos\phi$	0,87	-
P107	Jmenovitá frekvence motoru	50	Hz
P108	Jmenovité otáčky motoru	2955	1/min
P113	Jmenovitý moment motoru	36	Nm
P128	Maximální výstupní proud	20.5	A
P452	Maximální frekvence napětí motoru – smysl otáčení doprava	100	%
P453	Maximální frekvence napětí motoru – smysl otáčení doleva	100	%
P462	Doba nárůstu frekvence	10	-
P463	Jednotky pro parametr P462	0 - Sekundy	-
P464	Doba poklesu frekvence	10	-
P465	Jednotky pro parametr P464	0 - Sekundy	-

Tab. 4 - Seznam použitých parametrů

3.2.1.3. Volba jištění měniče

Na základě štítkových hodnot měniče byla zvolena hodnota vstupní pojistky pro jištění polovodičů. Jedná se o typ gR s nominální hodnotou 32A. Pojistky jsou uloženy v pojistkovém odpojovači od společnosti ABB. Je zapotřebí při montáži dbát, aby nedošlo k obrácení polarity.

3.2.1.4. Výpočet úbytku napětí na kabelu měnič – motor

Kabel byl dimenzovaný na jmenovitý výkon motoru, který je v tomto případě 11 kW. Délka kabelu mezi motorem a měničem se uvažuje na 5 metrů. Tato délka bude upravena do finální podoby teprve při montáži.

$$u_{\Delta dov} = \frac{U_s}{\sqrt{3}} \cdot 0,05 = \frac{400}{\sqrt{3}} \cdot 0,05 = 11,55 \text{ V} \quad (3.1)$$

$$u_{\Delta 1} = \frac{\rho_{cu} \cdot l \cdot P}{\sqrt{3} \cdot U_s \cdot s \cdot \cos \varphi} = \frac{\frac{1}{55} \cdot 5 \cdot 11000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 2,5 \cdot 0,87} = \frac{1000}{1506,8} = 0,66 \text{ V} \quad (3.2)$$

ρ_{cu} měrný tepelný odpor pro měď [$\mu\Omega\text{m}$]

U_s sdružené napětí [V]

$u_{\Delta dov}$ dovolený úbytek na vedení dle normy ČSN [V]

$u_{\Delta 1}$ vypočtený dovolený úbytek napětí mezi měničem SIMOVERT a motorem [V]

s průřez vodiče [mm^2]

l délka vedení [m]

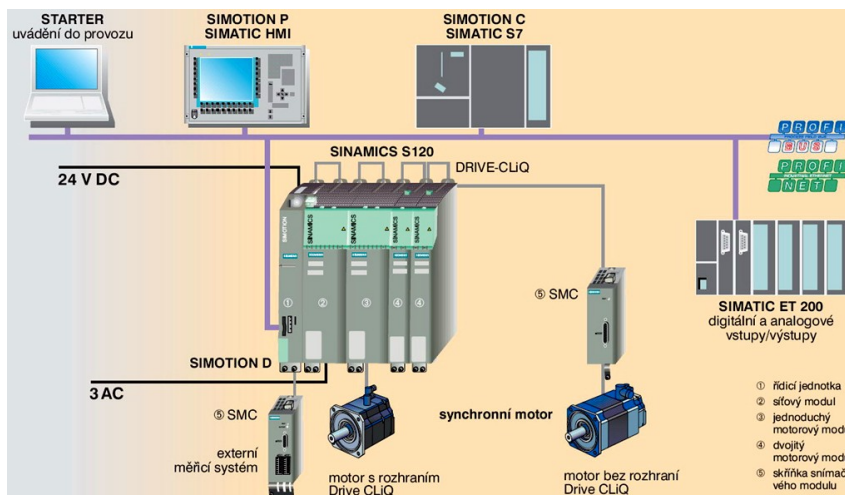
P činný výkon [W]

$\cos \varphi$ účinník [-]

Norma ČSN 341610 Elektrické silnoprůdové rozvody v průmyslových provozech stanovuje úbytek napětí 5%, což odpovídá výsledné hodnotě v rovnici (3.1). Výpočet dovoleného úbytku napětí na kabelu rovnice (3.2) činí 0,66V. Je zřejmé, že $u_{\Delta dov} > u_{\Delta 1}$ kabel na úbytek napětí vyhovuje. Z katalogu byl zvolen kabel ÖLFLEX SERVO 2YSLCY-JB 4G2,5 od společnosti LAPPGROUP. [18], [22]

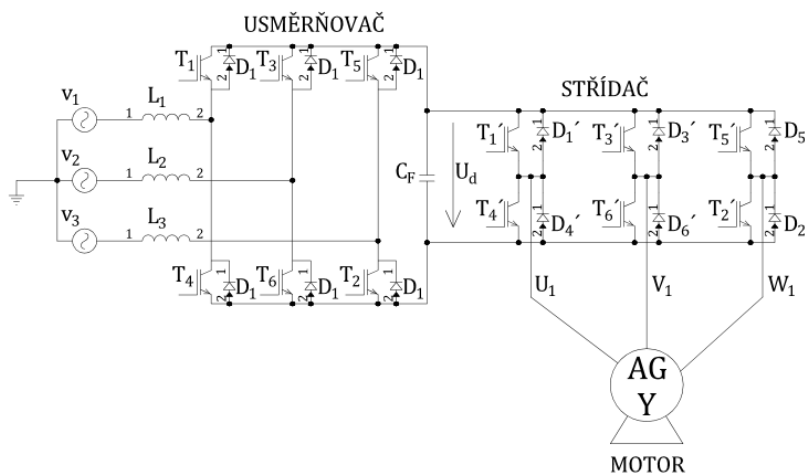
3.2.2. Nepřímý měnič kmitočtu řady SINAMICS

Nepřímý měnič kmitočtu s typovým označením SINAMICS je novou generací měničů na trhu. Jeho hlavní výhodou je modularita napájecích, řídicích a motorových výkonových jednotek, kompaktnost jednotek vstupů a výstupů a jednotný inženýring pohonů. Komunikace mezi jednotlivými částmi měniče je provedena sběrnici CLiQ. V diplomové práci jsou využity moduly CPU 320, síťový modul a motorový modul. Na obrázku číslo 4 je znázorněna struktura zapojení SINAMICS S120. [8]



Obr. 4 - Struktura zapojení SINAMICS S120 [8]

Důvodem využití typové řady SINAMICS S120 bylo mimo jiné také to, že obsahuje jednotku rekuperace energie do sítě. Vstup měniče je napájen z třífázové sítě přes filtrační tlumivky. Střídavé vstupní napětí je usměrněno vstupním pulzním usměrňovačem – síťový modul. Ve stejnosměrném meziobvodu je vložen kondenzátor s velkou kapacitou. Na výstupní straně se nachází střídač - motor modul. [8]



Obr. 5 – Výkonové zapojení SINAMICS S120

3.2.2.1. Štítkové hodnoty měniče

Využitím konfiguratoru od společnosti SIEMENS byla vybrána výše následující konfigurace modulů. Velikost výstupního proudu z měniče byla odvozena od nominální hodnoty proudu motoru, který činní 8.2 A při zapojení do hvězdy. V tabulce číslo 5 jsou uvedeny jednotlivé moduly, které byly požity k asynchronnímu generátoru. V katalogu SINAMICS, byly vyhledány základní štítkové hodnoty s jejichž pomoci bylo možné provést dimenzování kabelů a průchodek.

Řídicí jednotka CU320:	6SL3040-0MA00-0AA1
Napájení:	24V
Usměrňovací modul:	6SL3130-7TE21-6AA1
Vstup:	3AC 380/480 50-60 Hz
Výstup:	DC 600V
Výkon:	16 kW
Výstupní proud:	27 A
Motorový modul:	6SL3130-1TE21-0AA1
Vstup:	DC 600V
Výstup:	3 AC 400V
Výstupní proud:	9 A
Výkon:	16 kW

Tab. 5 - Štítkové hodnoty měniče SINAMICS [8]

3.2.2.2. Nastavení parametrů měniče SINAMICS

Podobně jako u měniče SIMOVERT, je zapotřebí nastavit jeho jednotlivé parametry. V případě měniče SINAMICS se provádí parametrování pomocí programu STARTER v záložce Expert list. V této záložce se nachází několik typů parametrů. Podle písmene za číselnou hodnotou parametru lze definovat typ parametru, a zdali jej můžeme nastavit uživatelsky nebo ne. Základní označení parametru je dáno strukturou jednoho písmene a čtyřmi číslicemi. V obecném popisu pxxx, kde je x číslo parametru a p je parametr. Tabulka číslo 6 obsahuje význam jednotlivých písmen psaných za názvem parametru. [8]

Písmeno a zkratka	Anglický název	Český název
C – (CDS)	Command data set	Ovládání nastavování dat
D – (DDS)	Drive data set	Nastavování dat pohonu
E – (EDS)	Encoder data set	Nastavování dat kodéru
M – (MDS)	Motor data set	Nastavování dat motoru
P – (PDS)	Power module data set	Nastavování dat napájecího modulu

Tab. 6 - Písmena psaná za parametrem [8]

Program STARTER má v základní instalaci v sobě uloženou knihovnu s motory. Pokud motor není uveden v knihovně, musíme nastavit parametry manuálně. V tabulce číslo 7 jsou nejdůležitější parametry pro správný chod motoru a měniče. Čísla parametrů pro jednotlivé moduly se mohou shodovat. [8]

Parametr	Název	Hodnota	Jednotka
P640	Proudové omezení motoru	9	A
P1080	Minimální otáčky motoru	100	1/min
P1082	Maximální otáčky motoru	1650	1/min
P304	Efektivní hodnota napětí motoru	282	V
P305	Efektivní hodnota proudu motoru	5,8	A
P307	Výkon motoru	4	kW
P308	Účíník	0,87	-
P310	Frekvence motoru	50	Hz
P311	Otáčky motoru	1460	1/min

Tab. 7 - Parametry motoru [8]

3.2.2.3. Volba jištění měniče

Volba jištění byla provedena na základě štítkových hodnot měniče. Byla zvolena pojistka typu gR s nominální hodnotou 10A. Pojistky jsou uloženy v pojistkovém odpojovači od společnosti ABB. Při montáži je nutné zajistit, aby nedošlo k obrácení polarity.

3.2.2.4. Výpočet úbytku napětí na kabelu měnič – motor

Kabel byl dimenzovaný na jmenovitý výkon motoru, který je v tomto případě 4 kW. Délka kabelu mezi motorem a měničem se uvažuje na 5 metrů. Tato délka bude upravena do finální podoby teprve při montáži.

$$u_{\Delta dov} = \frac{U_s}{\sqrt{3}} \cdot 0,05 = \frac{400}{\sqrt{3}} \cdot 0,05 = 11,55 \text{ V} \quad (3.3)$$

$$u_{\Delta 2} = \frac{\rho_{cu} \cdot l \cdot P}{\sqrt{3} \cdot U_s \cdot s \cdot \cos \varphi} = \frac{\frac{1}{55} \cdot 5 \cdot 4000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 2,5 \cdot 0,87} = \frac{363,6}{1506,8} = 0,24 \text{ V} \quad (3.4)$$

ρ_{cu} měrný tepelný odpor pro měď [$\mu\Omega\text{m}$]

U_s sdružené napětí [V]

$u_{\Delta dov}$ dovolený úbytek na vedení dle normy ČSN [V]

$u_{\Delta 2}$ vypočtený dovolený úbytek napětí mezi měničem SINAMICS a motorem [V]

s průřez vodiče [mm^2]

l délka vedení [m]

P činný výkon [W]

$\cos \varphi$ účíník [-]

Norma ČSN 341610 Elektrické silnoprůdové rozvody v průmyslových provozech stanovuje úbytek napětí 5%, což odpovídá výsledné hodnotě v rovnici (3.3). Výpočet dovoleného úbytku napětí na kabelu rovnice (3.4) činní 0,24V. Je zřejmé, že $u_{\Delta\text{dov}} > u_{\Delta 2}$ kabel na úbytek napětí vyhovuje. Z katalogu byl zvolen kabel ÖLFLEX SERVO 2YSLCY-JB 4G2,5 od společnosti LAPPGROUP. [18], [22]

3.3. Asynchronní generátor

Asynchronní motory se využívají jako generátor elektrické energie poměrně zřídka. Nejčastější použití je ve vodních elektrárnách malých vodních toků anebo v malých větrných elektrárnách. Hlavní výhody jsou spolehlivost, jednoduchost a minimální nároky na údržbu. Pro praktické využití asynchronních generátorů si musíme uvědomit několik základních odlišností: [13]

- Asynchronní motor, který pracuje ve funkci generátoru, musí z připojené sítě odebírat magnetizační složku proudu. [13]
- Asynchronní generátor proto musí pracovat buď do distribuční sítě nebo v případě lokální sítě musí být doplněn kondenzátory, které tvoří zdroj jalové energie pro magnetizaci. [13]
- Generátor není zapotřebí složitě fázovat jako synchronní generátor. [13]
- U asynchronního generátoru je potřeba regulace napětí a frekvence pro optimalizaci výkonu soustavy. [13]

3.3.1 Štítkové hodnoty

Prvním a nejdůležitějším krokem při výběru asynchronního generátoru je stanovení jeho počtu pólů. Tento parametr následně určuje otáčky turbíny, což je rozhodující parametr pro účinnost přeměny energie vody na mechanickou energii na hřídeli. Pro počet pólů je rozhodující, zda je turbína nízkootáčková či vysokootáčková. U malých vodních elektráren jsou častěji využívány dvou- a čtyřpólové stroje, které mají díky vyšším otáčkám příznivější rozměry a jsou lépe chlazeny.

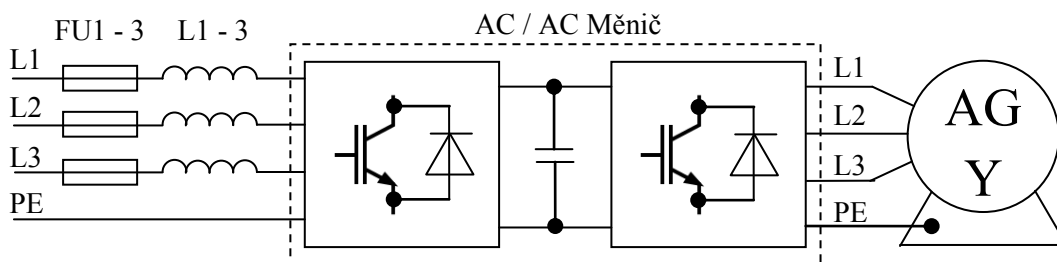
Laboratorní stanoviště bylo osazeno čtyřpólovým asynchronním generátorem. Z katalogu společnosti SIEMENS byl vybrán motor typu 1LE101-1BB22-2AA4. Štítkové hodnoty tohoto motoru jsou uvedeny v tabulce číslo 5.

Typ:	1LE1001-1BB22-2AA4 / 1AV2112B			
Napětí:	230	400	460	V
Zapojení:	Δ	Y	Y	
Frekvence:	50	50	60	Hz
Výkon:	4	4	4.55	kW
Proud:	14.40	8.20	8	A
Otáčky:	1460	1460	1760	1/min
Moment:	26	26	25	Nm

Tab. 8 - Štítkové hodnoty asynchronního generátoru [16]

3.3.2 Blokové schéma zapojení

Na obrázku číslo 4 je zobrazeno blokové zapojení asynchronního generátoru. Pro základní dimenzování je uvažováno se zapojením motoru do hvězdy. Do obvodu mezi distribuční sítí a generátor je vložen nepřímý měnič kmitočtu s možností rekuperace. Před měničem na straně distribuční sítě se nachází komutační cívky L1-3.



Obr. 6 – Blokové schéma zapojení asynchronního generátoru a AC/AC měniče

3.3.3 Výpočet minimálních otáček pro generátorický chod

Asynchronní motor přivedeme do generátorického režimu tak, že generátor roztočíme do nadsynchronních otáček. V tomto bodě je proveden výpočet minimálních otáček pro generátorický chod. [13]

- a) Výpočet synchronních otáček n_s .

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{2 \cdot p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = \frac{3000}{2} = 1500 \text{ ot/min} \quad (3.5)$$

- b) Výpočet skluzu.

$$s = \left(\frac{n_s - n_n}{n_s} \right) \cdot 100 = \left(\frac{1500 - 1460}{1500} \right) \cdot 100 = 2,7\% \quad (3.6)$$

- c) Výpočet minimálních otáček v generátorickém režimu

$$n_{gen} = n_s + (n_s \cdot s) = 1500 + (1500 \cdot 0,027) = 1540 \text{ ot/min} \quad (3.7)$$

n_s synchronní otáčky [ot/min]

n_n jmenovitý otáčky [ot/min]

s skluz [%]

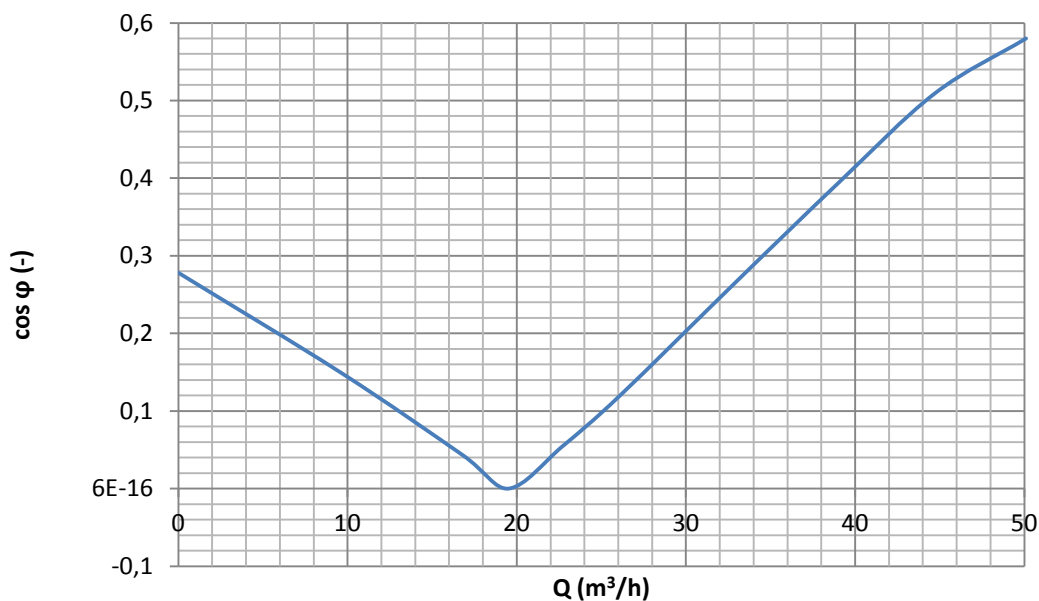
n_{gen} minimální otáčky pro generátorický chod [ot/min]

p počet pólových dvojic

Na základě výsledku z rovnice (3.7) jsou patrné otáčky, které je zapotřebí dosáhnout, aby bylo možné dosáhnout štítkového výkonu při kmitočtu 50 Hz.

3.3.4 Měření provozních vlastností generátoru a turbíny

V rámci diplomové práce bylo provedeno několik základní měření provozních vlastností generátoru a turbíny. Měřením účinku pro generátor s přímým připojením na síť bylo zjištěno, že není možné dosáhnout normou stanoveného účinku. Distributor elektrické energie i norma požadují u drobných výrobců elektrické energie, aby dodržovali účiník v rozsahu na hodnotě 0,95 - 1. V případě nedodržení těchto hodnot dochází k sankcím ze strany distributora elektrické energie. Na základě této skutečnosti byl proveden výpočet kompenzace účinku. Tento odstavec se týká pouze asynchronního generátoru, který je přímo připojen do sítě.



Graf 1 - Hodnota účinku pro jmenovité otáčky

3.3.5 Výpočet kompenzace účinku

Z grafu číslo 1 je patrné, že při jmenovitých otáčkách byl naměřen účiník 0,58. Výkon za generátorem byl naměřen na hodnotu 3,3 kW. Cílem této kapitoly je vypočítat potřebnou kondenzátorovou baterii, která dokáže hodnotu účinku navýšit na požadovanou hodnotu normou a distributorem.

a) Výpočet zdánlivého výkonu.

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{3300}{0,58} = 5,69 \text{ kVA} \quad (3.8)$$

S zdánlivý výkon [VA]

P činný výkon [W]

$\cos \varphi$... účiník [-]

- b) Hodnota účinníku $\cos\varphi = 0,58$ odpovídá hodnotě $\sin\varphi = 0,81$. Nyní můžeme vypočítat potřebný kompenzační jalový výkon. Potřebný účinník je $\cos\varphi = 0,98$ a přepočtem získáme $\sin\varphi_k = 0,2$.

$$Q_c = \sqrt{3} \cdot S \cdot (\sin\varphi - \sin\varphi_k) = \sqrt{3} \cdot 5690 \cdot (0,81 - 0,2) = 6,01 \text{ kVar} \quad (3.9)$$

Q_c jalový výkon [VAr]
 S zdánlivý výkon [VA]
 $\sin\varphi$ přepočtený účinník [-]
 $\sin\varphi_k$ přepočtený účinník kompenzační [-]

- c) Výpočet kondenzátorové baterie.

$$C = \frac{Q_c}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot U_s^2} = \frac{6061}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 400^2} = \frac{6061}{50240000} = 120 \mu F \quad (3.10)$$

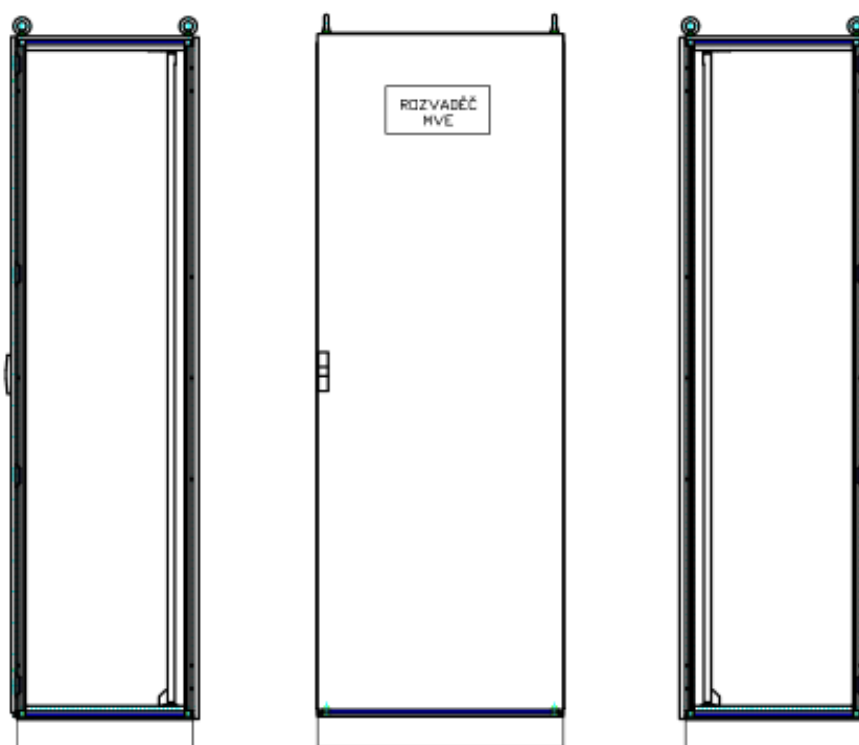
Q_c jalový výkon [VAr]
 f frekvence [Hz]
 U_s sdružené napětí [V]
 C kapacita kompenzační baterie [μF]

- d) Z vypočtené hodnoty kondenzátorové baterie byla vybrána z katalogu od společnosti ZEZ SILKO kondenzátorovou baterii typu CSADG 1-0,4/6,25 s jmenovitou kapacitou $3 \times 41,4 \mu F$. Kondenzátorová baterie je zapojena do trojúhelníka a bude připojena na výstupu z generátoru. [19]

3.4. Elektrický rozvaděč

Elektrická výzbroj laboratorního stanoviště modelu malé vodní elektrárny bude zapouzdřená do rozvaděče od společnosti RITTAL. Rozvaděč bude mít krytí IP 54. Přední strana rozvaděče je tvořena jednokřídlými dveřmi. Na straně A rozvaděče ve výšce 120 – 130 mm budou vyřezány otvory pro osazení průchodek. Do rozvaděče se vloží tři montážní plechy. Měníče a vstupní tlumivky se umístí přímo na montážní plechy bez DIN-lišty. Ostatní elektrické zařízení bude uchyceno pomocí DIN-lišt k montážní desce. Kabely jsou vedeny v kabelových kanálech. Výkonové kabelové kanály mají na sobě umístěnou značku nízkého napětí. [17]

Ovládací prvky budou umístěny v malém rozvaděči od společnosti RITTAL. Do boční stěny budou vyvrtány otvory pro vstup kabelů přes kabelové průchodky. Tlačítka se umístí do čelní montážní desky, která se zapustí do hloubky 2-3 centimetrů. Celé laboratorní pracoviště tak bude možné ovládat z tohoto místa přenosného rozvaděče.



Obr. 5 - Rozvaděč laboratorního stanoviště [17]

3.5. Elektrická přípojka

Přípojka je provedena pohyblivým přívodem s koncovkou pro třífázovou zásuvku o nominální hodnotě 32A. Do rozvaděčové skříně vstupuje přívodní kabel asi ve výšce jednoho metru přes průchodku a pokračuje na vstupní svorkovnici. Normou je stanovený typ kabelu, který musí projektant použít pro pohyblivé přívody. V našem případě se jedná o měděný kabel od společnosti LappKabel ÖLFLEX CALSSIC 400CP 5x4 mm. Délka kabelu mezi zásuvkou a rozvaděčem je stanovena na 15 metrů. Průřez kabelu je vypočten na základě úbytku napětí na vedení. Výpočet úbytku je uveden v rovnici (3.11) a (3.12). [18], [23]

Komunikace mezi hlavním a ovládacím rozvaděčem je provedena komunikačním kabelem od společnosti LappKabel CLASSIC 34x2.5 mm. Silové kabely pro ovládání výkonových obvodů jsou odděleny od komunikačních obvodů přepážkou. Pro silové ovládací kabely je použit typ od společnosti LappKabel CLASSIC 3x1.5 mm. Celý tento svazek je uložen do chráničky KOPOFLEX D50. Délka kabelu mezi rozvaděči je uvažována 5 metrů. Tato délka bude upravena do finální podoby teprve při montáži. [18], [23]

3.5.1 Výpočet úbytku napětí na přívodním vedení

Kabel byl dimenzovaný na jmenovitý výkon celého laboratorního stanoviště, který je v tomto případě 16 kW. Délka přívodního kabelu se uvažuje, že nepřekročí 5 metrů. Tato délka bude upravena do finální podoby teprve při montáži.

$$u_{Dov} = \frac{U_s}{\sqrt{3}} \cdot 0,05 = \frac{400}{\sqrt{3}} \cdot 0,05 = 11,55 \text{ V} \quad (3.11)$$

$$u_{\Delta\text{přivod}} = \frac{\rho \cdot l \cdot P}{\sqrt{3} \cdot U_s \cdot s \cdot \cos \varphi} = \frac{\frac{1}{55} \cdot 15 \cdot 16000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 4 \cdot 0,98} = \frac{4363,6}{2715,9} = 1,6 \text{ V} \quad (3.12)$$

ρ_{cu} měrný tepelný odpor pro měď [$\mu\Omega\text{m}$]
 U_s sdružené napětí [V]
 $u_{\Delta\text{dov}}$ dovolený úbytek na vedení dle normy ČSN [V]
 $u_{\Delta\text{přivod}}$ vypočtený dovolený úbytek napětí mezi přívodní zásuvkou a svorkovnicí x_1 [V]
 s průřez vodiče [mm^2]
 l délka vedení [m]
 P činný výkon [W]
 $\cos \varphi$ účinník [-]

Norma ČSN 341610 Elektrické silnoprůdové rozvody v průmyslových provozech stanovuje úbytek napětí 5%, což odpovídá výsledné hodnotě v rovnici (3.11). Výpočet dovoleného úbytku napětí na kabelu rovnice (3.12) činí 1,6V. Je zřejmé, že $u_{\Delta\text{dov}} > u_{\Delta\text{přivod}}$ kabel na úbytek napětí vyhovuje. Z katalogu byl zvolen kabel ÖLFLEX CLASSIC 400CP 5G4 od společnosti LAPPGROUP. [18], [23]

4. Technická zpráva

4.1 Základní údaje

Předmětem projektu je návrh fyzikálního modelu malé vodní elektrárny. Tento model bude sloužit k výuce.

4.2 Seznam projektové dokumentace

Název	Č. výkresu	Měřítko
1. Dispozice rozvaděče hlavního rozvaděče	A	-
2. Dispozice rozvaděče ovládací rozvaděč	B	-
3. Elektrická schémata	C	-
4. Specifikace	D	-
5. Kabelový list	E	-

4.3 Podklady pro projekt

- Podkladová studie hydraulické části
- Platné normy ČSN a EN

4.4 Předpisy a normy

- ČSN 33 2000-1 ed.2:2009 Elektrické instalace nízkého napětí - Část 1: Základní hlediska, stanovení základních charakteristik, definice,
- ČSN 33 2000-4-41 ed.2:2010 Elektrické instalace nízkého napětí – Část 4-41: Ochranná opatření pro zajištění bezpečnosti - Ochrana před úrazem elektrickým proudem,
- ČSN 33 2000-4-43 ed.2:2010 Elektrické instalace nízkého napětí - Část 4-43: Bezpečnost - Ochrana před nadproudy,
- ČSN 33 2000-4-443 ed.2:2007 Elektrické instalace budov - Část 4-44: Bezpečnost - Ochrana před rušivým napětím a elektromagnetickým rušením - Kapitola 443: Ochrana proti atmosférickým nebo spínacím přepětím,
- ČSN 33 2000-4-473:1994 Elektrotechnické předpisy. Elektrická zařízení. Část 4: Bezpečnost. Kapitola 47: Použití ochranných opatření pro zajištění bezpečnosti. Oddíl 473: Opatření k ochraně proti nadproudům,
- ČSN 33 2000-5-51 ed.3:2010 Elektrické instalace nízkého napětí - Část 5-51: Výběr a stavba elektrických zařízení - Všeobecné předpisy,
- ČSN 33 2000-5-52 ed.2:2012 Elektrotechnické předpisy - Elektrická zařízení - Část 5: Výběr a stavba elektrických zařízení - Kapitola 52: Výběr soustav a stavba vedení,

- ČSN 33 2000-5-54 ed.3:2012 Elektrické instalace nízkého napětí - Část 5-54: Výběr a stavba elektrických zařízení - Uzemnění, ochranné vodiče a vodiče ochranného pospojování,
- ČSN 33 2000-5-559:2006 Elektrické instalace budov - Část 5-55: Výběr a elektrických zařízení - Ostatní zařízení - Oddíl 559: Svítidla a světelná instalace,
- ČSN 33 2000-7-701 ed.2:2007 Elektrické instalace nízkého napětí – Část 7-701: Zařízení jednoúčelová a ve zvláštních objektech - Prostory s vanou nebo sprchou,
- ČSN 33 0165:1992 Elektrotechnické předpisy. Značení vodičů barvami nebo číslicemi. Prováděcí ustanovení,
- ČSN 33 2030:2004 Elektrostatika - Směrnice pro vyloučení nebezpečí od statické elektřiny,
- ČSN 33 2130 ed.2:2009 Elektrické instalace nízkého napětí – Vnitřní elektrické rozvody,
- ČSN 33 2180:1979 Elektrotechnické předpisy ČSN. Připojování elektrických přístrojů a spotřebičů,
- ČSN 73 0580-1:2007 Denní osvětlení budov - Část 1: Základní požadavky,
- ČSN EN 12464-1:2012 Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovních prostorů - Část 1: Vnitřní pracovní prostory,
- ČSN 38 0810:1986 Použití ochrany před přepětím v silových zařízeních,
- ČSN 33 1500:1990 Elektrotechnické předpisy. Revize elektrických zařízení,
- ČSN 62 305-1:2006 Ochrana před bleskem,
- ČSN EN ISO 16484-1:2011 Automatizační a řídicí systémy budov (BACS) – Část 1: Projektová specifikace a realizace,
- ČSN EN ISO 16484-5:2011 Automatizační a řídicí systémy budov – Část 5: Datový komunikační protokol,
- ČSN EN 60335-1 ed.2 Elektrické spotřebiče pro domácnost a podobné účely - Bezpečnost – Část 1: Všeobecné požadavky,
- ČSN EN 60950-1 ed.2 Zařízení informační technologie - Bezpečnost – Část 1: Všeobecné požadavky,
- ČSN EN 61508-1 ed.2 Funkční bezpečnost elektrických/elektronických/programovatelných elektronických systému souvisejících s bezpečností – Část 1: Všeobecné požadavky,

4.5 Napěťové soustavy

- 3+N+PE ~ 50 Hz, 230/400 V / TN-S
- = 24V / SELV

4.6 Ochrana před úrazem elektrickým proudem

- Základní ochrana je provedena dle normy ČSN 33 2000-4-41 ed.2.
- Ochrana při poruše je provedena dle normy ČSN 33 2000-4-41 ed.2 automatickým odpojením od zdroje a ochranným pospojováním.
- Jednotlivé napěťové hladiny jsou od sebe odděleny zábranou anebo přepážkou.

4.7 Uzemnění

Uzemnění je provedeno v souladu s normou ČSN 33 2000-5-54 ed. 3. Kryty rozvaděče a ostatní neživé části musí být pospojovány uzemňovacím páskem FeZn 30x4 nebo zelenožlutým vodičem CY příslušného průřezu. Je nutné chránit vodič před korozí a mechanickým poškozením.

4.8 Ochranná soustava

- Dle normy ČSN 33 2000-5-54 ed.3 je nutno dodržet minimálního průřezu ochranného vodiče. Tyto průřezy jsou stanoveny v člancích 543.1.2 a 543.1.3.
- Dle výše uvedené normy musí být ochranný vodič připojen k náhodnému zemniči nebo uzemňovacímu přívodu zkušební svorkou a musí být chráněn před mechanickým poškozením.

4.9 Ochrana před bleskem

Ochrana před bleskem je vytvořena v hlavním rozvaděči v místnosti, ze kterého je napájeno toto zařízení.

4.10 Požadavky na dodávku elektrické energie

a) Napájecí místo:

Model vodní elektrárny je napájen z třífázové zásuvky 3+N+PE v soustavě TN-S.

b) Stupeň důležitosti dodávky energie:

Podle ČSN 34 1610 je stanovena důležitost dodávky elektrické energie stupněm 1.

c) Ochrana proti zkratům a přetížení:

Ochrana proti zkratu, přetížení je zajištěna vhodně dimenzovanými jisticími prvky.

d) Instalovaný příkon:

Celkový instalovaný výkon je dán velikostí jističe v hlavním rozvaděči laboratoře. Velikost jističe v rozvaděči činí 32 A. Z rovnice (4.1) byl vypočten maximální výkon, který můžeme připojit na zásuvku.

$$P_N = \sqrt{3} \cdot U_s \cdot I \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 32 \cdot 0,98 = 22kW \quad (4.1)$$

4.11 Krytí elektrického zařízení

Krytí zařízení bylo stanoveno, dle protokolu o vnějších vlivech, který byl vypracován pro laboratoř A016. V této laboratoři se pohybují studenti, kteří mají oprávnění dle §4 na zařízení měřit, ale nesmějí zasahovat do elektrického zapojení.

4.12 Popis technického řešení

a) Technické řešení

Model vodní elektrárny je napájen ze zásuvky kabelovým přívodem. Kabel prochází přes průchodku z boční strany do hlavní svorkovnice X1. Dále prochází přes hlavní stykač, který je ovládán z obvodů, které vyházejí ze svorkovnice X1. Obvody jsou trvale pod napětím a jsou označeny oranžovou barvou. Kabel je vyvedený přes svorkovnici X3 do ovládacího pultu na svorkovnici X101. Obvody procházejí skrz průchodku hlavní skříně a ovládacího pultu. Za stykačem vstupuje tří fázový kabel na svorkovnici X2, N, PE. Zde dochází k oddělení silových a ovládacích obvodů. Silové obvody pokračují na pojistkový odpojovač s pojistkou 32A a dále do měniče frekvence a motoru. V tomto fyzikálním modelu je využit jeden asynchronní motor o jmenovitém výkonu 11kW a asynchronní generátor a jmenovitém výkonu 4kW. Na hřídeli 11kW motoru je umístěno čerpadlo, které pohání pomocí vody vodní turbínu, která je spojena s hřídelí asynchronního generátoru. Ze svorkovnic X2, N, PE vycházejí také ovládací obvody čtyř servopohonů a napájecí obvod průtokoměru. Pro ovládání servopohonu jsou vždy využity dva páry stykačů. Cívky těchto stykačů jsou ovládány napětíovou hladinou 24V SELF ze zdroje napětí, přes jistící prvky 6A. Na řídicí panel jsou vyvedeny 3 měřicí body. První měřicí bod je analogový výstup z prvního měniče kmitočtu, druhý bod je analogový výstup z druhého měniče kmitočtu a třetí bod je proudový výstup z průtokoměru. Průtokoměr obsahuje display pro měření průtoku. Ze svorkovnice X12 vychází ovládací kabel, který prochází přes průchodku hlavní rozvodné skříně a vstupuje přes průchodku do ovládacího panelu na svorkovnici X102. Zapínání a vypínání motorů je provedeno pomocí měničů frekvence. Měniče frekvence se ovládají pomocí kabelu RJ45 z počítače.

b) Popis ovládacího pultu PU01

Popis tlačítek:

- Tlačítko S1 aretační černé s klíčem – hlavní vypínač
- Tlačítko S2 černé – pohyb šoupátka 1 otevírání
- Tlačítko S3 černé – pohyb šoupátka 1 zavírání
- Tlačítko S4 černé – pohyb šoupátka 2 otevírání
- Tlačítko S5 černé – pohyb šoupátka 2 zavírání
- Tlačítko S6 černé – pohyb klapka 1 otevírání
- Tlačítko S7 černé – pohyb klapka 1 zavírání
- Tlačítko S8 černé – pohyb klapka 2 otevírání
- Tlačítko S9 černé – pohyb klapka 2 zavírání
- Tlačítko S10 červené s hříbem a aretací – generální stop

Popis signálů:

Signálka H1 zelená – zapnutí hlavního obvodu
Signálka H2 zelená – pohyb šoupátka 1 otevírání
Signálka H3 zelená – pohyb šoupátka 1 zavírání
Signálka H4 zelená – pohyb šoupátka 2 otevírání
Signálka H5 zelená – pohyb šoupátka 2 zavírání
Signálka H6 zelená – pohyb klapka 1 otevírání
Signálka H7 zelená – pohyb klapka 1 zavírání
Signálka H8 červená – pohyb klapka 2 otevírání
Signálka H9 zelená – pohyb klapka 2 zavírání

c) Popis provozních technických funkcí

Odemknutím a zmáčknutím hlavního vypínače S1 dojde k zapnutí stykače K1 a k rozsvícení signálky H1. Připojením PC k měničům frekvence je možné regulovat a zapínat motory přes konektor RJ45, který je umístěn na ovládacím pultu. Než zapneme motory, je nutné maximálně otevřít obě klapky a šoupátko 1 pomocí tlačítek S2, S6 a S8. Při zmáčknutí tlačítka se rozsvítí příslušná signálka. Nyní zapneme motor na požadované otáčky a pomalu můžeme otevírat šoupátko 2, které propustí vodu do turbíny. Až je šoupátko 2 plně otevřeno, můžeme pomalu začít uzavírat šoupátko 1 do úplného uzavření. Při pohybu servopohonu dochází k rozsvícení a k zhasínání signálů. Pokud signálka svítí, servomotor je v pohybu.

Při vypínání otevřeme šoupátko 1 do maximální polohy a pomalu začneme uzavírat šoupátko 2. Jakmile je šoupátko 2 uzavřeno, vypneme motor a pomalu začneme uzavírat obě klapky a šoupátko 1. Je nutné provádět tyto úkony pomalu, aby nedošlo ke zničení mechanických částí hydraulických přístrojů.

d) Obsluha, servis a uvedení do provozu elektrického zařízení

Obsluha fyzikálního modelu malé vodní elektrárny je povinná se seznámit s návodem na použití a musí absolvovat proškolení obsluhy. Návod na použití bude přiložen k projektové dokumentaci. Elektrické zařízení se používá pouze k měření a nesmí být užito k jiným účelům. V případě vzniku škody a pochybení ze strany obsluhy majitel nemá nárok na reklamaci.

Zkušební provozní doba je uvedena ve smlouvě o dílo, záruční a pozáruční servis bude zajištěn technikem dodavatelské společnosti, který je patřičně proškolen a splňuje podmínky práce na elektrickém zařízení dle vyhlášky 50 §6. Záruční doba je stanovena dle zákona na dobu 24 měsíců.

Po dokončení montáže dodavatelská společnost odborně vyzkouší správnou funkčnost zařízení. Do provozu mohou být spuštěna pouze zařízení, u kterých nebyla při ověřovací zkoušce zjištěna závada.

4.13 Uvedení do provozu a provozní podmínky

a) Předpisy pro uvedení do provozních podmínek

Elektrické zařízení musí být provedeno dle norem ČSN tak, aby se nestalo příčinou požáru nebo úrazu elektrickým proudem. V případě poruchy bude zařízení odstaveno z provozu a řádně proškolená osoba poruchu analyzuje a opraví.

Před zahájením provozu elektrického zařízení je nutné provést odbornou kontrolu správného zapojení vodičů a prvků. Elektrické zařízení musí být správně mechanicky připevněno a nesmí svým působením nepříznivě ovlivňovat ostatní elektrická zařízení v jeho okolí.

Ověření správné funkčnosti elektrického zařízení je provedeno výchozí revizí. Tím bude potvrzeno, že elektrické zařízení vyhovuje bezpečnostním požadavkům příslušných norem.

b) Bezpečnost a ochrana zdraví při práci a provozu elektrickým zařízením

Elektrické zařízení musí být použito k účelům, pro které je určeno. Zařízení musí být používáno v souladu s průvodní dokumentací a místními provozními předpisy.

Servis a údržbu zajišťuje nasmlouvaný servis, popřípadě proškolený pracovník společnosti, který splňuje kvalifikaci vyhlášky 50 §6.

4.14 Dopad na životní prostředí

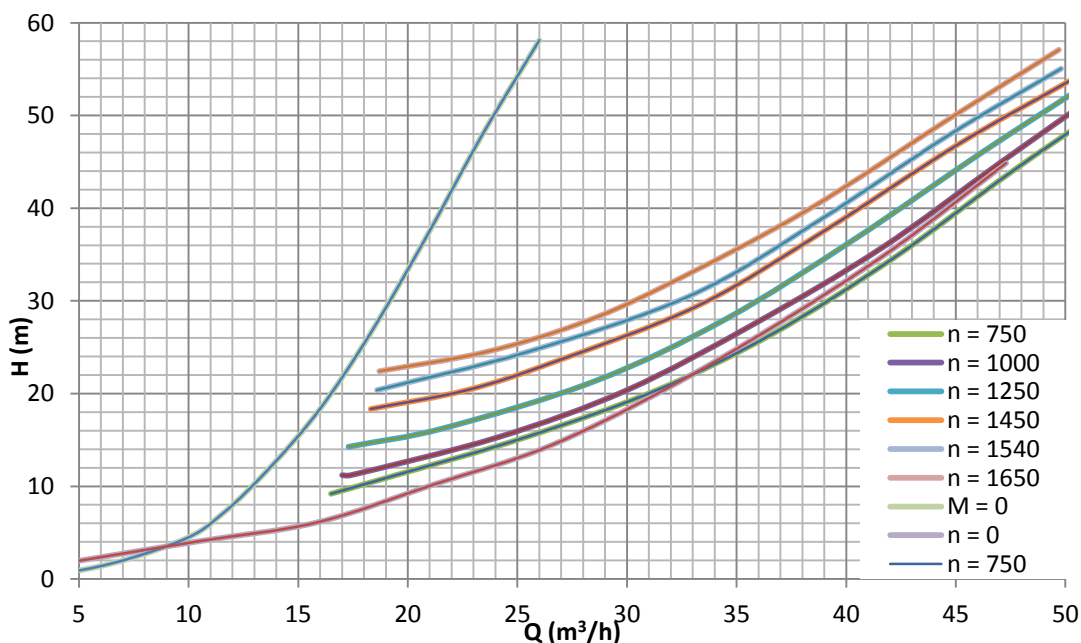
Elektrické zařízení má minimální dopad na životní prostředí. V případě demontáže musí být odpad ekologicky zlikvidován.

5. Ukázka z měření

Měření bylo provedeno na laboratorním stanovišti, které se nachází v laboratoři číslo EB016. Svrky asynchronního generátoru byly spojeny do hvězdy. Turbína s motor je spojena pružnou mechanickou spojkou. Nepřímý měnič kmitočtu byl nastaven na vektorovou regulaci. Při prvním měření se měřicí přístroj připojil mezi motor a měnič. V druhém měření se přístroj připojil mezi distribuční síť a měnič kmitočtu. Výkon mezi měničem a distribuční sítí je vždy menší než mezi motorem a měničem. Je to dané vlastní spotřebou měniče. Cílem měření bylo porovnat hydraulické parametry s elektrickými.

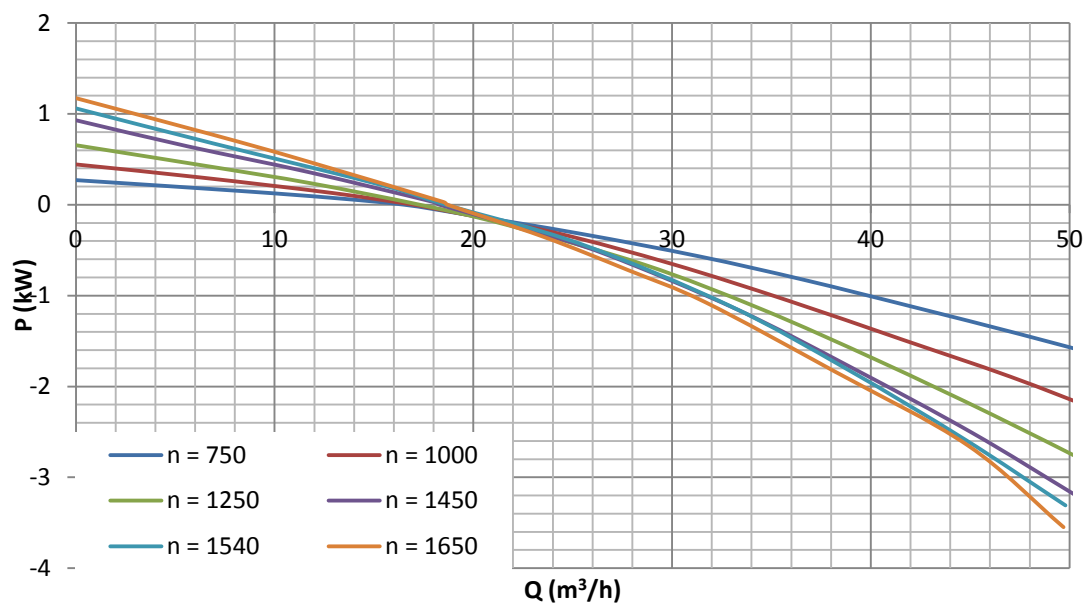
5.1. Výkonová charakteristika turbíny

Výkonová charakteristika turbíny je závislost průtoku na spádu. Charakteristika byla měřena pro různé otáčky. Měření pro nulové otáčky bylo provedeno při mechanickém zabrzdění. Charakteristika se měřila nastavováním různého průtoku při konstantních otáčkách a spád se počítal z rozdílu tlaku. Z naměřených hodnot je patrné, že turbína pracuje nejdříve jako čerpadlo. Po překročení průtoku v rozmezí 16-19 m³/h (dle otáček) přechází do turbinového režimu.

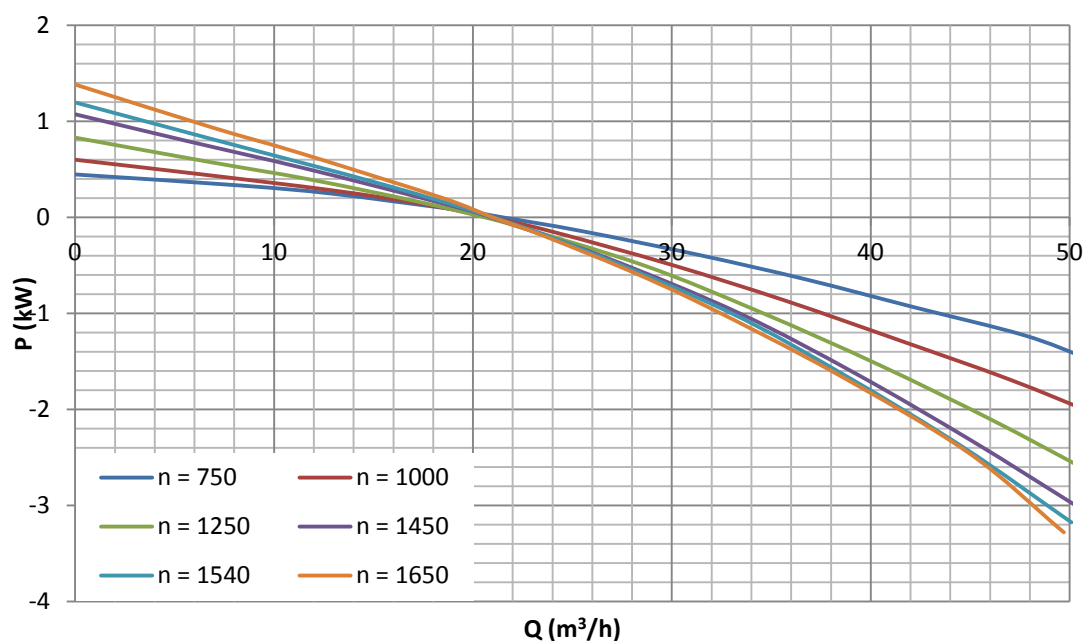


5.2. Příkonová charakteristika turbíny

Příkonová charakteristika turbíny je závislost průtoku na odebíraném nebo dodávaném výkonu při konstantních otáčkách. Z charakteristiky vyplývá, že turbína pracuje nejlépe při otáčkách 1650 ot/min, kde se vyrobený výkon blíží jmenovitému výkonu. Při těchto otáčkách se vyrobil nejvyšší elektrický výkon 3547 W.



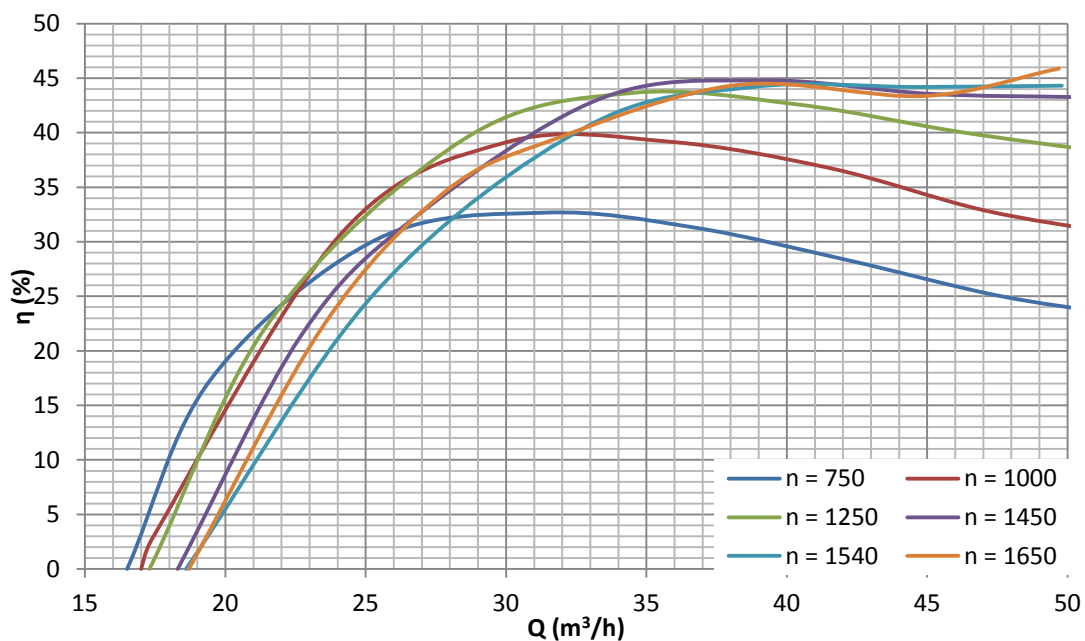
Graf 2 - Příkonová charakteristika (Měnič - Motor)



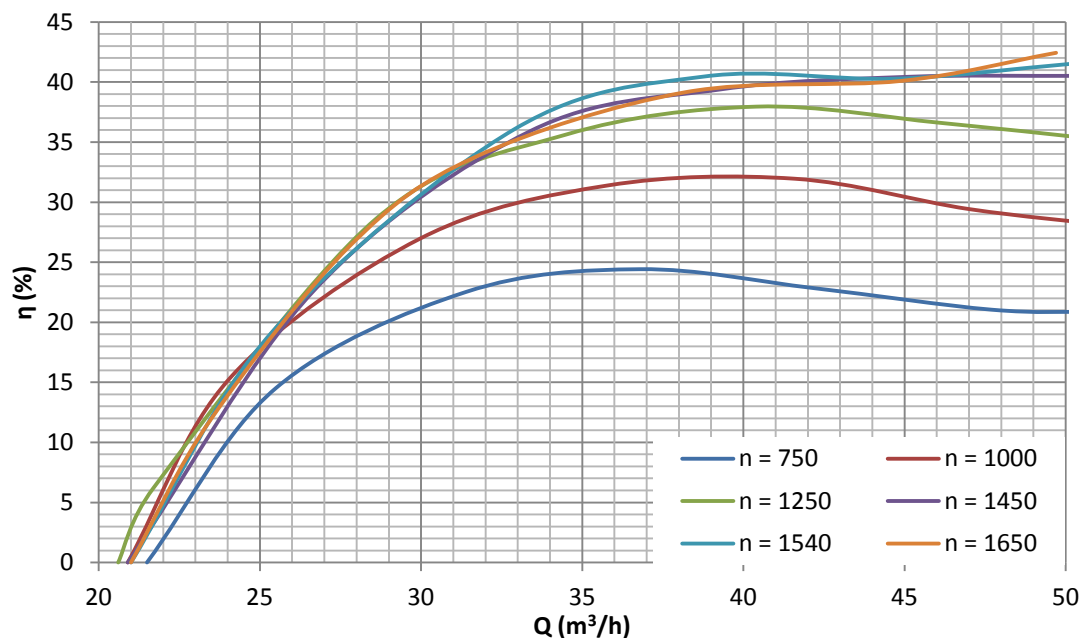
Graf 4 - Příkonová charakteristika (Síť - Měnič)

5.3. Účinnost turbíny

Křivka účinnosti turbíny zobrazuje závislost účinnosti hydrodynamického stroje na průtoku při konstantních otáčkách. Z naměřených hodnot znázorněných v grafu číslo 5 vyplývá, že turbína je neúčinnější při 1650 ot/min.



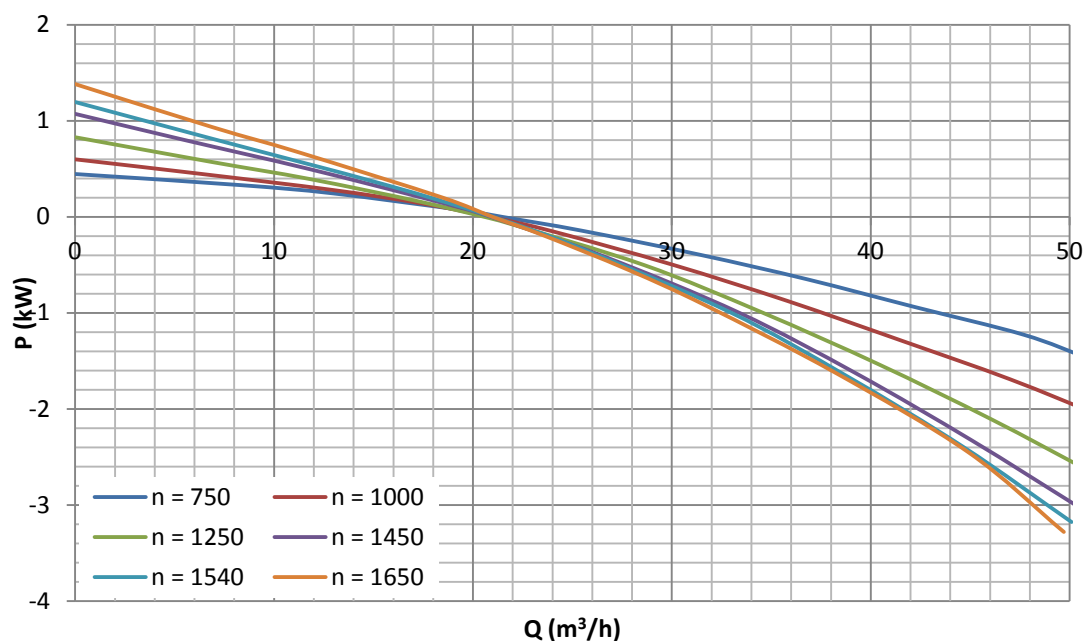
Graf 5 - Účinnost turbíny (Měnič - Motor)



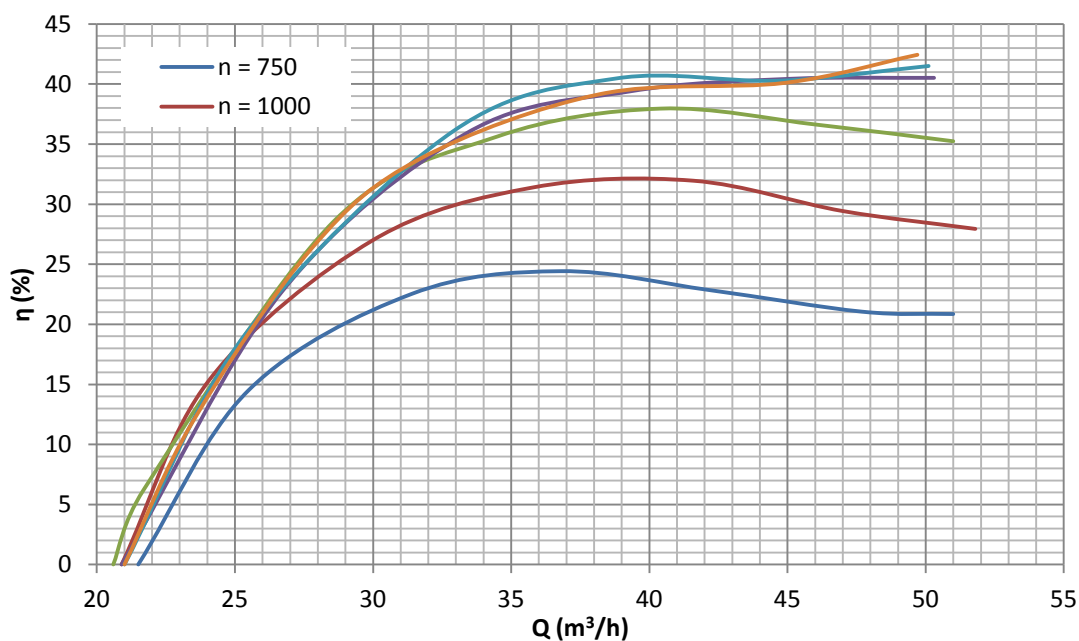
Graf 6 - Účinnost turbíny (Síť - Měnič)

5.4. Motor připojený na distribuční síť

V posledním měření, kdy byl motor připojen na distribuční síť, se měřily základní charakteristiky. Generátor dosahoval lepší účinnosti při přímém připojení na síť než přes měnič kmitočtu, což má logické opodstatnění. Vyšší účinnost generátoru připojeného na distribuční síť je dána tím, že měnič kmitočtu má vlastní spotřebu energie, kterou využívá pro svůj chod a ovlivňuje výkon generátoru dodávaný do sítě a tím i jeho účinnost.



Graf 7 - Příkonová charakteristika (Síť - Motor)



Graf 8 - Účinnost turbíny (Síť - Motor)

6. Závěr

Katedra elektroniky nechala vyrobit fyzikální model malé vodní elektrárny. K tomuto modelu byla dodána průvodní technická dokumentace, která slouží pro pochopení základních hydraulických jevů. Prvotní zprovoznění modelu se neobešlo bez obtíží, protože turbína začala předčasně kavitovat vlivem nízkého tlaku v potrubí. Nastavením tlaku v expanzní nádobě ze 4 na 6 MPa se odstranila kavitace. Následně bylo možné provést měření na turbíně.

Z uvedených štítkových hodnot bylo navrženo řízení čerpadla, generátoru a dvou nepřímých měničů kmitočtu, které jsou k sobě připojeny paralelně přes jisticí prvky. Bylo provedeno dimenzování kabelů a jištění. Nedílnou součástí jsou i ovládací mechanismy pro regulační klapky a šoupátka, která mohou sloužit pro regulaci průtoku v případě přímého připojení na distribuční síť. Celá elektrická výzbroj je instalována v rozvaděči od společnosti Rittal a ovládání modelu je z vedlejšího menšího ovládacího panelu.

V rámci této diplomové práce byla vytvořena kompletní projektová dokumentace elektrické části v programu E3. Byl vytvořen soubor VBS-skrypt a registrační dokument, na jejichž základě se generovaly zapojovací listy a specifikace. V zapojovacích listech jsou uvedeny návlečky pro jednotlivé kabely a dráty. Specifikace obsahuje kompletní výčetku jednotlivých komponentů, které byly použity v samotném projektu. Ve specifikaci je uveden servopohon bez objednáčeho čísla, což je způsobenou dodávkou staršího typu armatury. Konkrétní provedení servopohonu bude muset být řešeno individuálně.

Na základě vytvořené projektové dokumentace bylo laboratorní stanoviště uvedeno do provozu, ale pouze v provizorním režimu s měničovou technikou, která byla dostupná na Katedře elektroniky. I v tomto režimu již bylo možné provést měření základních hydraulických a elektrických parametrů, jejichž některé výsledky jsou v práci uvedeny. Vytvořená projektová dokumentace poslouží jako základ pro vypsání výběrového řízení na dodávku elektrické části stanoviště.

7. Použitá literatura

7.1 Literatura

- [1] Vondrášek, František. *Výkonová elektronika – svazek 3*. Západočeská univerzita v Plzni, 1998, 252s. ISBN 80-7082-485-9
- [2] Maryška, J., Šembera, J. *Mechanika tekutin*. Technická Univerzita v Liberci, Liberec 2000, 98s.
- [3] Galda, Martin. *Návrh hydraulického pojezdu univerzální pohonné jednotky žacího stroje*. Vysoké učení technické v Brně, Brno 2011, 44s.
- [4] Veselovská, J., Kroupa, M. *Základy tvorby technickej dokumentácie v elektrotechnike*. Alfa, Bratislava 1990, 608s. ISBN 80-05-00099-5
- [5] Javůrek, Jiří. *Regulace moderních elektrických pohonů*. Grada Publishing, a.s., Praha 2003, 264s. ISBN 80-247-0507-9
- [6] Chlebiš, Petr. *Výkonové polovodičové systémy*. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Ostrava 2005, 76s.
- [7] Janalík, Jaroslav. *Hydrodynamika a Hydrodynamické stroje*. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Ostrava 2008, 190s.
- [8] Dolníček, Tomáš. *Modernizace laboratorních úloh s měničem frekvence SINAMICS S120*. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Ostrava 2007, 51s.
- [9] Kalas, Vojtěch. *Nabíječ akumulátorové lokomotivy*. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Ostrava 2013, 40s.
- [10] Zavila, Ondřej. *Čerpadla*. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Ostrava 2011, 49s.
- [11] Francírek, František. *Bakalářská práce. Co, jak a proč připravit, zpracovat, napsat a zhodnotit (obhájit)*. Ingenio et Arti s.r.o., Praha 2012, 114s. ISBN 978-80-905287-1-0.
- [12] Šoukal, Jiří. *Řízení pohonu čerpadel*. Sigma, Olomouc 2014, 40s.
- [13] <http://mve.energetika.cz/sikovneruce/asynchronni-generator.htm>
- [14] <http://homen.vsb.cz/~mlc37/TVB%28FEI%29/Prednasky/1rozvody.pdf>

7.2 Datové listy

- [12] *Zapojení servopohonu*. Muellheim, AUMA GmbH & Co.KG, 2s.
- [13] *Přehled sortimentu*: Letohrad, OEZ s.r.o. [2015], 124s.
- [14] EAO MC 04 Main-Catalogue DE. Olten: EAO AG, [2014], 180s.
- [15] *Katalog D 21.3*. Nürnberg: SIEMENS, [2009], 334 s.
- [16] *Katalog D 81 1202*. Praha: SIEMENS, [2012], 92 s.
- [17] *Katalog 34*. Postfach: RITTAL GmbH & Co.KG, [2014], 746 s.
- [18] *Main Catalogue DE*. Stuttgart: U.I. Lapp GmbH [2014], 1088s.
- [19] *Kompenzace jalové energie*. Žamberk: ZEZ SILKO, s.r.o. [2015], 40s.

7.3 Normy

- [20] ČSN 33 2000-4-41 ed.2 Změna Z1. *Elektroinstalace nízkého napětí – Část 4-41: Ochranná opatření pro zajištění bezpečnosti – Ochrana před úrazem elektrickým proudem.* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010. Třídící znak 85519
- [21] ČSN 33 2000-5-51 ed.3. *Elektroinstalace nízkého napětí – Část 5-51: Výběr a stavba elektrických zařízení – Všeobecné předpisy.* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010. Třídící znak 85482
- [22] ČSN 33 2000-5-54 ed.3. *Elektroinstalace nízkého napětí – Část 5-54: Výběr a stavba elektrických zařízení – Uzemnění a ochranné vodiče.* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010. Třídící znak 90331
- [23] ČSN 34 1610 – Z1. *Elektrické silnoprůdové rozvody v průmyslových provozech.* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1963. Třídící znak 341610

8. Seznam příloh

Příloha A – Dispozice rozvaděče hlavního rozvaděče

Příloha B – Dispozice rozvaděče ovládací rozvaděč

Příloha C – Elektrická schémata

Příloha D – Specifikace

Příloha E – Kabelový list